



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS DIADEMA



FERNANDA YURIE YAMASAKI

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE SPRAY-DRYING EM
ENCAPSULAÇÃO DE AROMAS NA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS

DIADEMA

2020

Fernanda Yurie Yamasaki

Aplicação da tecnologia de *spray-drying* em encapsulação de
aromas na indústria de alimentos

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Farmácia, ao Instituto
de Ciências Ambientais, Químicas
e Farmacêuticas da Universidade
Federal de São Paulo – Campus
Diadema.

Orientador: Prof^a Dr^a Patricia
Sinnecker

Diadema

2020

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Yamasaki, Fernanda Yurie

Aplicação da tecnologia de spray-drying em encapsulação de aromas na indústria de alimentos / Fernanda Yurie Yamasaki. -- Diadema, 2020.

28 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2020.

Orientadora: Patrícia Sinnecker

1. Aromas. 2. Encapsulação. 3. Spray-Drying. 4. Secagem por atomização. I. Título.

Fernanda Yurie Yamasaki

Aplicação da tecnologia de Spray-drying em encapsulação de
aromas na indústria de alimentos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em Farmácia, ao Instituto de Ciências Ambientais,
Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus
Diadema.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Patricia Sinnecker – UNIFESP

Profª. Drª. Anna Cecilia Venturini – UNIFESP

Profª. Drª. Cristiana Maria Pedroso Yoshida – UNIFESP

Diadema
2020

RESUMO

Aromas são aditivos com propriedades de melhorar as características sensoriais de alimentos e bebidas. As indústrias de alimentos fazem o uso dos aromas, pois estes são responsáveis pela caracterização do sabor do produto final, deixando-o mais atrativo para o consumidor. Os aromas são moléculas voláteis e de baixo peso molecular, e relativamente sensíveis ao ar, luz e umidade. Por este motivo, a encapsulação é uma técnica muito empregada na indústria de alimentos, visando à preservação do aroma. A encapsulação de partículas pela tecnologia de spray-drying é de ampla aplicabilidade, sendo muito utilizada nas indústrias de alimentos, e nas indústrias farmacêuticas e cosméticas. No processo de encapsulação, pequenas partículas denominadas núcleo ou recheio são revestidas por um material que forma a cápsula ou encapsulante. A natureza do material encapsulante influencia na eficiência e estabilidade do composto encapsulado, e diversas variáveis como propriedades do aroma, temperatura do sistema, viscosidade, tamanho da partícula obtida interferem no processo como um todo. A encapsulação é aplicada na indústria alimentícia com a finalidade de reduzir a perda do aroma, mascarar compostos de sabor indesejável e promover melhor incorporação e solubilidade do núcleo. O presente trabalho explora a técnica mais utilizada, a secagem por atomização ou spray-drying, devido a sua alta taxa de produtividade e baixo custo de processo, abordando sobre o método de secagem, as etapas que envolvem o processo e suas variáveis, bem como a sua aplicabilidade no presente.

Palavras-chave: Aromas. Alimentos. Encapsulação. Revestimento. Secagem por atomização. Materiais de parede.

ABSTRACT

Flavors are additives with properties that improve the sensory characteristics of food and beverages. The food industries make use of flavorings, as these are responsible for characterizing the taste of the final product, making it more attractive to the consumer. Flavors are volatile molecules with low molecular weight that are relatively sensitive to air, light and moisture. For this reason, encapsulation is a technique widely used in the food industry, aimed at preserving the flavor. It is a technique of wide applicability in food industry, being widely used also in the pharmaceutical and cosmetic industry. In the encapsulation process, small particles called the core or filler are coated with a capsule or encapsulating material. The nature of the encapsulating material influences the efficiency and stability of the encapsulated compound, and several variables such as aroma properties, system temperature, viscosity, particle size obtained interfere with the process as a whole. Encapsulation is applied in the food industry to reduce loss of flavor, mask unwanted flavor compounds and promote better incorporation and core solubility. Different methods can be employed in encapsulation. The most commonly used technique is spray drying, and the present study explores the most used technique, spray-drying, due to its high productivity rate and low process cost, addressing the drying method, the process steps and involved variables and its applicability nowadays.

Keywords: Flavors. Foods. Encapsulation. Coating. Spray-drying. Wall Materials.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVO	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1. Aromas	9
3.2. Encapsulação	12
3.3. Spray-Drying.....	15
3.3.1. Etapas envolvidas no processo de atomização	18
3.3.2. Variáveis e limitações do processo de encapsulação	20
3.4. Material de parede e suas propriedades	22
3.4.1. Tipos de materiais de parede.....	23
3.4.1.1. Carboidratos	23
3.4.1.2. Gomas	23
3.4.1.3. Proteínas.....	24
3.5. Inovações e tendências.....	24
4. CONCLUSÃO	26
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

O sabor é o atributo sensorial mais importante de um alimento, que quimicamente nada mais é que uma combinação de um conjunto de aromas. Os aromas presentes inerentemente nos alimentos e bebidas, e o aroma pode se desenvolver durante o processo ou ser adicionado ao processo para atender e satisfazer as expectativas dos consumidores. Os aromas são responsáveis por conferir a primeira impressão sobre um alimento, e que pode interferir na aceitação do consumidor pelo produto final.

Aromas são moléculas orgânicas e de baixa massa molecular (inferior a 400 Daltons), e são relativamente voláteis e muito sensíveis ao ar, aquecimento, luz e umidade, esses fatores causam efeitos indesejáveis e perdas significativas nos compostos aromatizantes. Dessa forma, encapsulação é uma prática comum nas indústrias que produzem aromas para preservar tanto os aromas como os sabores, uma vez que são muito propensos a serem liberados dos alimentos durante o processo de manufatura, transporte e estocagem. Além do mais, segundo FENG (2018) aromas são muito suscetíveis à ação do pH, umidade, presença de sais, ácidos e enzimas, podendo até produzir sabores estranhos.

Para aumentar a estabilidade de compostos aromáticos e limitar a sua degradação, a encapsulação é a prática mais comum e efetiva. Desta maneira, a encapsulação protege o aroma da maioria desses fatores prevenindo a sua perda durante o processamento e armazenagem dos alimentos conferindo estabilidade e retenção de sabor, termos proporcionalmente interligados. Se a estabilidade do aroma aumenta, a retenção do sabor aumenta. A encapsulação é uma técnica de grande aceitação na indústria de alimentos, visto que, alguns produtos que antes eram considerados inviáveis tecnicamente de serem produzidos, hoje são plausíveis e de grande aceitação no mercado. Muitos estudos vêm apresentando condições ideais de encapsulação para produção de pó de frutas e produtos vegetais (SHISHIR & CHEN, 2017). Assim como se destaca o uso da secagem em produtos laticínios (PERRONE, PEREIRA, & CARVALHO, 2011).

No século XIX, Samuel R. Percy obteve a primeira patente *US125406A*, inventando a atomização e dessecação simultânea de fluidos e substâncias

sólidas, com o objetivo de retirar a umidade das substâncias. Logo no século XX, a tecnologia de atomização avançou na segunda guerra mundial, com a necessidade de produção de leite na forma de pó. E com a crescente industrialização, notou-se uma aceitação geral do uso de aromas e fragrâncias em uma variedade de bens de consumo, principalmente em países mais desenvolvidos. A tecnologia de secagem por atomização é amplamente empregada nas indústrias de diversos ramos e de grande aceitação no mercado (PEREIRA et al, 2018).

Em alimentos processados a degradação do aroma ocorre durante o processo de estocagem do produto. Com a finalidade de reduzir o nível de degradação e preservar a autenticidade do aroma, o processo de encapsulação de ingredientes voláteis pode ser usado em alimentos e bebidas, entretanto, a técnica aplicada dependerá do tipo de produto em que será usado ou as condições de processamento pelas quais passará. Por exemplo, na indústria de panificação, os compostos aromáticos encapsulados na forma de pó, são usados principalmente porque são mais estáveis, mais fáceis de pesar e armazenar. Compostos encapsulados em formas líquidas e emulsões também são usados em diferentes aplicações de panificação, pois ajuda a melhorar a textura do produto final, além de preservar o sabor e a composição do aroma. Em bebidas, aromas e compostos aromáticos são geralmente encapsulados na forma de micro e nano emulsões antes de serem misturados com outros ingredientes (GASPAR, 2015)

Se comparado a outras tecnologias como a secagem a vácuo ou a liofilização, a secagem via Spray Drying é considerada mais econômica devido aos baixos custos operacionais. A técnica é 4 a 5 vezes mais econômica do que a liofilização e chega a ser 4 vezes mais econômica do que secagem a vácuo (SHISHIR & CHEN, 2017).

Diante desses aspectos, estudos buscam estratégias e melhorias para superar certas limitações, principalmente relacionadas a garantia de maior estabilidade dos compostos e ao impedimento de sua degradação. A tecnologia de Spray drying utilizada em encapsulação é de especial interesse em aplicação de aromas, pois oferece alto rendimento de produção com custo operacional minimizado comparado a outras técnicas.

2. OBJETIVO

Investigar inovações na tecnologia de spray-drying aplicada em encapsulação de aromas e seu uso na indústria de alimentos, destacando as principais etapas do processo e as variáveis que afetam a sua eficiência.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aromas

De acordo com as diretrizes da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), descritas na Resolução nº 104 de 14 de maio de 1999, os aromas ou aromatizantes, são definidos como: “[...] São substâncias ou misturas de substâncias com propriedades odoríferas e ou sápidas, capazes de conferir ou intensificar o aroma e/ou sabor dos alimentos. Para efeitos do presente Regulamento Técnico os aromatizantes classificam-se em naturais ou sintéticos.”

O aroma tem a função de melhorar sensorialmente a qualidade de um alimento ou bebida, pois grande parte do sabor obtido é diretamente influenciado pelo seu aroma. Todavia, o uso de aromas é diferente do uso de demais aditivos, já que contrariamente, necessitam ser notados pelo consumidor, pois são responsáveis pela caracterização do sabor do produto final (BRASIL, 2016).

Alguns produtos podem apresentar naturalmente uma complexidade de substâncias que, em conjunto, conferem um aroma característico. Existem catalogadas mais de 3.000 substâncias voláteis que podem ser utilizadas para compor os mais variados aromas encontrados na natureza. (DOSSIÊ AROMAS, 2009). Por exemplo, no café torrado é possível identificar mais de 1.000 componentes em sua constituição, que conferem o aroma natural de café, uma mistura de compostos voláteis que apresentam aromas em diferentes intensidades e concentrações. (AROMAS, 2015).

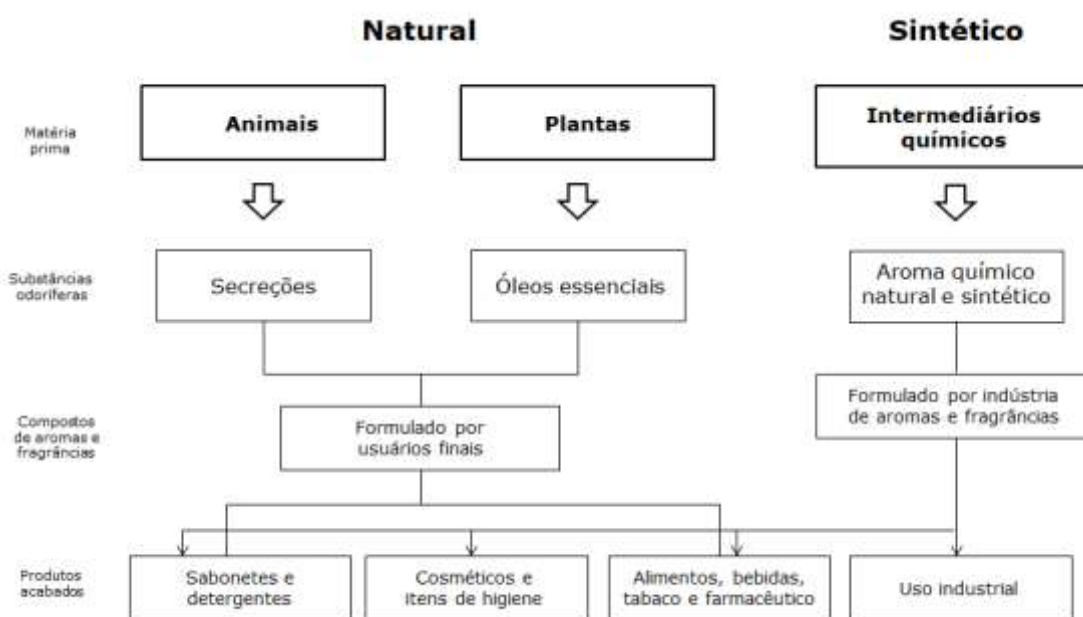
Quimicamente, os aromas são formados por substâncias como ácidos, ésteres, cetonas, aldeídos, álcoois e terpenos. Podem ser classificados como naturais ou idênticos aos naturais, estes que são sintéticos e possuem as mesmas moléculas aromáticas dos naturais. O que difere um aroma natural de um idêntico ao natural é a forma pela qual são obtidos. Enquanto nos naturais as moléculas são obtidas

de fonte de origem animal ou vegetal, os idênticos aos naturais são produzidos em laboratório através de reações químicas. Se essa síntese ainda origina moléculas que não existem na natureza, são criados então os considerados aromas artificiais (ANVISA, 2007).

O aroma idêntico ao natural do morango, é composto por uma combinação de pelo menos quatro dessas substâncias: cis-3-Hexen-1-ol (nota gustativa: folha verde), ácido butírico (nota gustativa: queijo, azedo), hidroxidimetil-furanona (nota gustativa: caramelo, doce), e etil-2-metilbutirato (nota gustativa: frutal, maçã). E os sentidos do consumidor não conseguem diferenciar tanto a questão da naturalidade ou no sabor, entre uma substância aromática derivado de morango ou de uma fonte natural (DOSSIÊ AROMAS, 2009).

Na Figura 1 é possível verificar as diversas possibilidades de aplicações de aromas naturais e aromas sintéticos nos diversos ramos industriais.

Figura 1. Aplicação de aromas naturais e sintéticos nas indústrias.



FONTE: Adaptado de HERTA ZIEGLER, 2007.

O gosto dos consumidores e o mundo dos aromas sofrem mudanças constantes. A tendência do momento é o apelo pelo natural, assim como os consumidores buscam mais produtos saudáveis ou orgânicos, como alimentos e

bebidas com a presente no rótulo “sem aditivos artificiais”, isso tem influenciado o mercado de aromas e ocorre porque o consumidor quer manter o hábito saudável, sem ter o sabor do alimento comprometido (AROMAS, 2015).

Existe uma grande discrepância no uso de produtos químicos aromatizados quando se trata do aroma natural em comparação ao aroma sintético, o que pode ser explicado pelo fato do custo mais elevado do aroma natural. Por exemplo, no ano de 1992, a cetona de framboesa, teve seu consumo estimado em 400kg de aroma natural, em contraste, o uso da sua versão sintética foi trezentas vezes maior na indústria (ZIEGLER, 2007).

Uma pesquisa e análise de tendência de *Marketshare* das indústrias de aromas nos Estados Unidos divulgou uma estimativa do crescimento do uso de aromas e fragrâncias naturais entre 2014-2025, com destaque a preferência pelos ingredientes de sabor natural devido à tendência ascendente pelo tema de saúde e bem estar pelos consumidores (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

Figura 2. Análise da tendência de crescimento do mercado de aromas natural



FONTE: GRAND VIEW RESEARCH, 2019.

O hábito alimentar dos consumidores continua se alterando, forçando as indústrias desse ramo a buscarem cada vez mais tecnologias alimentícias para conseguir atender as demandas do mercado e dos consumidores, com produtos de maior valor nutritivo agregado, assim como inovações e novas aplicações.

Como exemplo, a tendência de bebidas funcionais, que são enriquecidas com um ingrediente funcional, como a vitamina C, prebióticos, fibras, colágenos e outros. Foi feito um estudo sobre o teor de ácido ascórbico no suco de acerola desidratado pela tecnologia de spray-drying, que obteve perda menor do composto e mais estabilidade em comparação ao suco de acerola liofilizado (TANAKA, 2007).

Sendo assim, a técnica de Spray-drying é bem estabelecida e tem sido utilizada há mais de um século, mas continua sendo um campo ativo de inovação, impulsionada pela crescente demanda de partículas cada vez mais sofisticadas (VEHRING, FOSS, & LECHUGA-BALLESTEROS, 2007).

3.2. Encapsulação

A encapsulação é um processo de empacotamento de partículas, em que pequenas partículas ou gotículas que podem ser gotículas líquidas, partículas sólidas ou mesmo compostos gasosos são envoltos por uma película ou cápsula. A estrutura é relativamente simples, o material encapsulado é denominado como núcleo, preenchimento ou fase interna, enquanto o material que forma a cápsula, é denominado de encapsulante, material de parede ou revestimento (JYOTHI, 2012). Em termos de estrutura, o núcleo pode ser formado apenas por um ingrediente ou uma composição de vários deles, como um material cristalino, uma partícula adsorvente, uma emulsão ou suspensão de sólidos. Por outro lado, a parede pode ser classificada como simples ou dupla camada (ADEM GHARSALLAOUI, 2007).

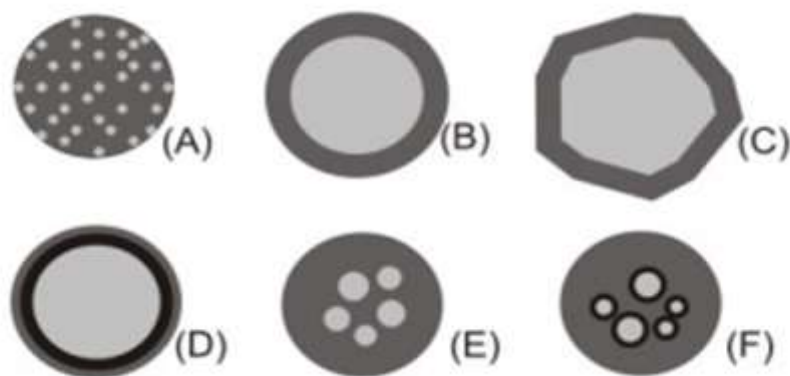
Segundo Shahidi (1993), há seis razões para aplicação da encapsulação na indústria de alimentos: reduzir a reatividade do núcleo com fatores ambientais ou da matriz do alimento onde o aroma é inserido, diminuir a taxa de transferência do núcleo com o externo (por exemplo, por evaporação, que é muito rápida em casos de compostos não encapsulados), mascarar sabores ou odores indesejáveis, facilitar o manuseio, liberar o material do núcleo de forma controlada, e por fim, diluir o material do núcleo em casos de uso em pequenas quantidades.

A partícula produzida durante o processo pode ser classificada em relação ao seu tamanho e morfologia, que são determinadas pela escolha da ampla variedade de

materiais de parede e pelos diferentes métodos de encapsulação existentes. De acordo com Silva et al. (2014), as partículas podem ser classificadas em três categorias em relação ao seu tamanho: macropartículas ($>5000\ \mu\text{m}$), micropartículas ($0,2\text{-}5000\ \mu\text{m}$) e nanopartículas ($<0,2\ \mu\text{m}$). Em relação a morfologia, pode-se denominar as cápsulas da seguinte forma: microcápsula – aquelas na qual o núcleo é nitidamente concentrado no centro e circundado por material de parede contínuo e definido, também classificado do tipo reservatório. Da mesma forma, existem as microesferas, aquelas nas quais o núcleo se encontra disperso em uma matriz, portanto, do tipo matricial ou monolítico. A principal diferença entre microcápsulas e microesferas basicamente se refere ao fato de que na microesfera, uma pequena parte no material encapsulado permanece exposta a superfície, o que não acontece na verdadeira encapsulação. Todavia, o termo encapsulação é utilizado no sentido mais amplo e engloba tanto a formação de microcápsulas quanto microesferas.

No processo de secagem por atomização ou spray-drying, as partículas produzidas são do tipo matricial com o material ativo distribuído na matriz seca do encapsulante. Dependendo das propriedades físico-químicas do material do núcleo, a composição da parede e da técnica de encapsulação aplicada, diferentes tipos de partículas são obtidos, como pode ser visualizado nos modelos da Figura 3. Desta forma, diferentes microcápsulas e microesferas são produzidos diante uma grande variedade de materiais de parede disponíveis (monômeros ou polímeros) e frente a diferentes métodos de encapsulação existentes como por exemplo: spray-drying, spray-chilling ou spray-cooling, extrusão, leito fluidizado, coacervação, liofilização, secagem em tambor, inclusão molecular, inclusão em lipossomas (GHARSALLAOUI, 2007).

FIGURA 3. Modelos de cápsulas: (A):Matriz; (B):Mononuclear ou Simples; (C): Simples Irregular; (D): Duas paredes; (E): Polinuclear; (F) Agrupamento de microcápsulas.



FONTE: AZEREDO, 2005.

Um dos maiores fatores que afetam a retenção do aroma durante a encapsulação é a escolha do método apropriado e ótimas condições de processo. De acordo com JAFARI (2008), as formas de encapsulação podem ser divididas em 3 categorias gerais, tais como métodos químicos (polimerização, inclusão molecular); métodos físico-químicos (emulsificação, coacervação) e métodos físico mecânicos (spray-drying, liofilização).

O spray-drying é mais comumente utilizado onde a liberação do aroma requer temperatura ambiente ou em soluções aquosa. Em contraste, compostos sensíveis à oxidação, como os óleos cítricos, podem ter melhor estabilidade por extrusão do que outras técnicas devido à propriedade de barreira que o método pode oferecer (SAIFULLAH, 2019). A extrusão é mais adequada para compostos sensíveis ao calor. Outra técnica promissora é a secagem por spray chilling, semelhante à técnica de spray drying, porém no lugar de uma câmara de secagem é utilizada uma câmara de resfriamento com ar frio para solidificação da partícula, e como vantagem supera a perda térmica do aroma na qual é uma limitação da secagem por spray-drying. Adicionalmente, outra diferença entre spray-drying e spray chilling, é que o resfriamento permite apenas o uso de materiais de parede à base lipídios, ou seja, gorduras, ceras e ácidos graxos (DORDEVIC', 2015).

Na Tabela 1 é possível identificar diferentes métodos de encapsulação e suas principais aplicações.

Tabela 1. Comparativo entre métodos de encapsulação.

Método	Vantagem	Desvantagem	Principais aplicações	Referências
<i>Spray drying</i>	Baixo custo, Equipamento e técnica acessível, produção em escala industrial, solubilização instantânea e estabilidade elevada das cápsulas	Microcápsulas não uniformes, perda de materiais sensíveis ao calor, como aroma e outros compostos voláteis	Amplamente utilizada na indústria de alimentos, encapsulação de probióticos, indústria farmacêutica e química.	(MARTÌN <i>et al.</i> , 2015) (SILVA <i>et al.</i> , 2014) (KENT; DOHERTY, 2014)
<i>Spray chilling</i>	Envolve temperaturas baixas, econômico, pode utilizar lipídios como material de parede,	Baixa capacidade de encapsulação e expulsão do material do núcleo durante o armazenamento	Indústria de alimentos, vitaminas, enzimas, probióticos e medicamentos.	(PEDROSO <i>et al.</i> , 2012)
Extrusão	Baixo custo, simplicidade do método, não envolve altas temperaturas, pode ser utilizado em sistema aeróbico e anaeróbico	Método mais trabalhoso, necessita de avanços tecnológicos para produção em escala industrial	Amplamente utilizada na indústria de alimentos e encapsulação de probióticos	(FAVARO-TRINDADE <i>et al.</i> , 2011) (KENT; DOHERTY, 2014)

FONTE: Adaptado de VANISKI, R.; CORTI, D.; DRUNKLER, D. A, 2017.

Na encapsulação de aromas, aproximadamente 80-90% dos encapsulados são produzidos pela técnica de spray drying, seguido por spray chilling (5-10%), e extrusão (2-3%) (GUPTA, MUZAFAR, KUSHWAHA, & YADAV, 2016).

3.3. Spray-Drying

Spray-drying ou secagem por atomização é um processo em que um produto líquido, quando atomizado em ar quente contínuo, produz instantaneamente um pó. A remoção da água é uma prática muito comum em processamento de alimentos. Por diminuir o conteúdo de água e a atividade da água, a aplicação de secagem por atomização é geralmente empregada na indústria de alimentos para garantir estabilidade microbiológica dos produtos, evitar riscos de degradações químicas e/ou biológicas, reduzir o estoque e custos de transporte, e acima de tudo, obter um produto com propriedades específicas como a solubilidade

instantânea por exemplo (ADEM GHARSALLAOUI, 2007).

A secagem por atomização é uma técnica comumente utilizada em escala industrial, e apresenta como vantagens a produção de partículas com processo operacional relativamente simples, contínua, se comparado a outras técnicas existentes, além das altas taxas de produção. Apesar das várias técnicas que foram desenvolvidas e que hoje estão disponíveis para encapsular ingredientes, a mais comumente utilizada na indústria de alimentos é a tecnologia spray-drying, devido ao seu baixo custo e sua viabilidade (AZEREDO, 2005).

Os secadores por spray são capazes de secar o produto muito rapidamente em comparação com outros métodos de secagem, e o processo de secagem ocorre em uma única etapa, o que pode ser vantajoso na viabilidade de minimizar custos e pela simplicidade de execução da técnica. O tempo de secagem varia em relação ao teor de umidade do produto, porém em média, o tempo de residência do material a ser secado dentro do equipamento de Spray-Drier é de aproximadamente de 3 a 30 segundos (ESTEVES, 2006).

No processo, o material a ser encapsulado geralmente de caráter hidrofóbico, é emulsificado em uma solução aquosa ou dispersado no material encapsulante, e a solução resultante é bombeada através de um atomizador para uma câmara de alta temperatura. À medida que as partículas formadas são lançadas no meio gasoso, elas vão adquirindo forma esférica com a fase oleosa empacotada no interior da fase aquosa e ao entrar em contato com o ar aquecido, a água se evapora rapidamente da cápsula formada (AZEREDO, 2005).

A aplicabilidade do processo de secagem por atomização não se limita somente a indústria de alimentos, sendo utilizada em diversos outros setores industriais, como os exemplos citados na Tabela 2.

Tabela 2. Produtos obtidos a partir do processo de atomização em escala industrial

Setores industriais	Exemplos de produtos
Químico	Resina fenol-formaldeído, catalisadores, aminoácidos
Cerâmico	Óxido de alumínio, óxido de ferro, caulim
Pigmentos e corantes	Corantes alimentícios, dióxido de titânio, pigmentos para tintas
Fertilizantes	Nitratos, sais de amônio, fosfatos
Detergentes e surfactantes	Enzimas para detergentes, alvejantes, agentes emulsificantes
Alimentos	Leite, soro de leite, ovos, proteína de soja
Frutas e vegetais	Banana, tomate, leite de coco
Carboidratos	Glicose, maltodextrinas, pectinas, gomas
Bebidas	Chá, café
Farmacêutico	Penicilina, antibióticos, hemoderivados, enzimas, vacinas
Biotecnológico	Algas, extrato de leveduras, enzimas
Controle ambiental	Licor negro de fábricas de papel

Fonte: Adaptado de MARTERS (1997); FILKOVÁ, HUANG e MUJUMDAR, (2006); GEA NIRO, (2012).

Um exemplo de aplicação muito comum na indústria alimentícia é o processo de secagem do leite, considerado de microencapsulação, a gordura do leite é considerada como o núcleo que é protegido por um material de parede consistente formado por uma mistura de proteínas do leite e lactose (AZEREDO, 2005).

Spray-drying é usado com frequência para secar alimentos e ingredientes que são sensíveis ao calor como proteínas, óleos essenciais, e gordura (ABDUL-FATTAH, 2007). Outra aplicabilidade foi revisada na microencapsulação de óleo essencial de laranja, testadas á diferentes condições, variando os tipos de materiais de paredes empregados (LUCY C. ABURTO et al, 1998).

Estudos mostraram que quanto maior o teor de óleo, maior é a quantidade de óleo encapsulado, porém com diminuição da eficiência da encapsulamento (ADAMIEC, 2006). Da mesma forma que o tipo de biopolímero utilizado como encapsulante também influenciou o tamanho das partículas e o teor de óleo na superfície, na obtenção de óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) e extratos de aroma (EA) de citronela (*Cymbopogon nardus* G.) e manjerição (*Majorana hortensis* L.) por Spray drying (BARANAUSKIENE, 2006).

Aromas na forma de pó são usados em grandes variedades de produtos alimentícios, como produtos de confeitaria (bolos, pão, biscoitos, bolachas,

chocolates e doces), leite em pó, sobremesas instantâneas, bebidas instantâneas, alimentos assados e lanches extrusados (MADENE, 2006).

Aplicável também em produtos lácteos em geral, como leite, soro de leite, queijo, manteiga e creme de leite e alimentos da categoria *baby food*, sendo capaz de manter um preço de varejo baixo devido à extensão da vida útil desses produtos (AFOADWAH, 2012).

3.3.1. Etapas envolvidas no processo de atomização

De acordo com Bakry et al. (2015) o processo envolve quatro etapas: (i) preparo da dispersão; (ii) homogeneização da dispersão; (iii) atomização da dispersão; e (iv) desidratação das partículas atomizadas.

O esquema de funcionamento do equipamento está representado na Figura 4. A primeira etapa do processo é a formação de uma fina e estável camada de emulsão do material do núcleo na solução de parede. A mistura a ser atomizada (1), é preparada dispersando o material do núcleo que tende a ser de natureza hidrofóbica, em uma solução contendo material de parede ou revestimento, na qual é imiscível. A dispersão deve ser homogeneizada e aquecida, com ou sem a adição de um agente emulsificante, que vai depender das propriedades do material de parede (GHARSALLAOUI, 2007). O processo de emulsificação de *flavors* constitui-se na formação de pequenas gotículas em uma solução através de um homogeneizador, com a finalidade de melhorar a estabilidade de emulsões e evitar a coalescência durante a secagem (SOOTTITANTAWAT, 2005).

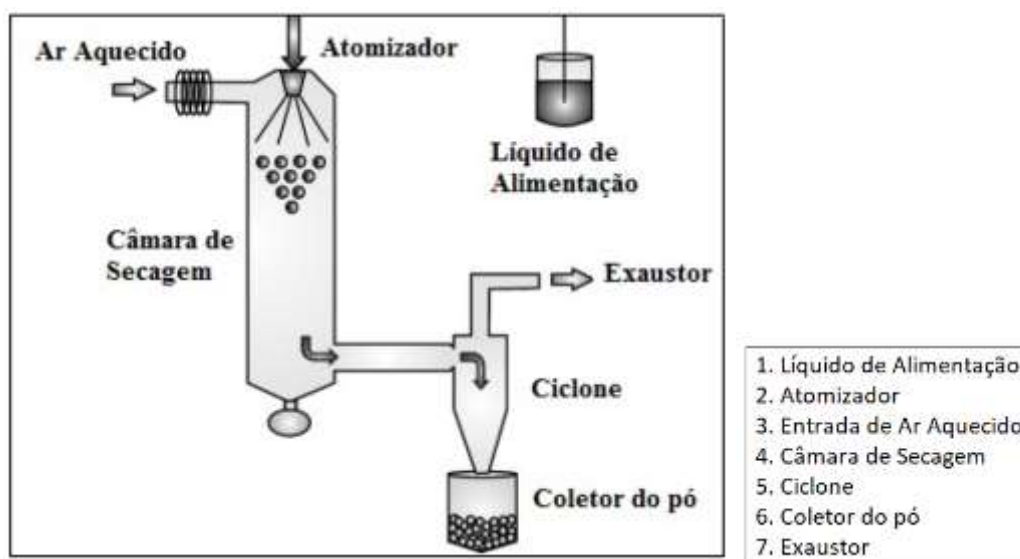
Com auxílio de uma bomba de deslocamento positivo, a amostra é carregada até o topo da câmara de secagem, onde se encontra o atomizador (2), que pode ser do tipo disco rotativo ou bico de pressão, exemplos mais comuns. No atomizador ocorre a transformação do fluido em pequenas gotículas de aproximadamente 100 µm, exato momento da atomização que ocorrem as trocas de calor e de massas.

O aquecedor ou queimador acoplado (3) ao sistema é responsável por aquecer o ar de entrada à temperatura de secagem desejada, esse sistema de aquecimento pode ser por modo direto, como a chama, ou de modo indireto, como resistência elétrica.

Na câmara de secagem (4), o contato do ar aquecido com as gotículas remove a água por evaporação, produzindo um pó fino que se deposita no fundo da câmara de secagem. Alguns modelos possuem um sistema de saída de produto, enquanto que outros que não possuem esse aparato, todo o produto vai diretamente para o ciclone (5).

O ciclone é responsável por separar o pó obtido, da corrente de ar que alimenta o sistema. Nele existe uma saída (6) que é o local onde é recolhido o pó obtido durante o processo. As forças centrífugas que atuam dentro do ciclone são responsáveis pela separação do material, pois mantém as partículas próximas da parede do ciclone, separando-as do gás aquecido. O gás quando atinge o fundo forma um vórtice interno para cima parte de cima do ciclone, forçando a saída do ar pelo sistema de exaustão (7), responsável pela retirada dos gases da câmara para serem devidamente tratados antes de ser eliminados para o ambiente (TRIBOLI, 2014).

Figura 4. Estrutura de um atomizador Spray Drier.



FONTE: Adaptado de SOSNIK & SEREMETA, 2015.

A atomização é etapa mais importante do processo, pois é momento em que material a ser seco é nebulizado. Os tipos de atomizadores de escala industriais mais utilizados são o de bico pressurizado e o de disco rotativo, é o tipo de atomizador utilizado que irá determinar a distribuição do tamanho de gotas formadas e suas velocidades iniciais.

O atomizador de bico pressurizado funciona sob pressão típica de 5MPa a 7 MPa, formando névoas por meio da pressão que passa pelos orifícios do bico e produzem gotículas com diâmetros entre 10 μm a 800 μm . Por outro lado, no atomizador de disco rotativo, o produto a ser seco é inserido no centro do disco e é conduzido para fora por meio de força centrífuga, formando gotículas com diâmetros de 1 μm a 600 μm . A grande vantagem em relação aos demais tipos de atomizadores é que a distribuição do tamanho de gotas e partículas pode ser controlada devido ao ajuste da velocidade angular do disco rotativo, característica fundamental para caracterização do pó (TRIBOLI, 2014).

Os modelos de atomizadores podem ser de diferentes escalas dependendo de sua aplicabilidade. Por exemplo, um Spray Drier Nacional LM MSD 1.0 (Labmaq) utilizado para pesquisa e desenvolvimento possui capacidade de secagem de 1 litro/hora. Em alternativa, um modelo de escala piloto LM SD 5.0 (Labmaq) dispõe de capacidade de secagem de 10 litros/hora. Em escala industrial, uma torre de secagem pode desempenhar até 2.000 litros/hora (DEPTO DE ENGENHARIA - LABMAQ DO BRASIL LTDA).

3.3.2. Variáveis e limitações do processo de encapsulação

O processo de secagem por spray-drying é considerado um processo contínuo e controlado, na qual é possível monitorar diversos fatores que influenciam na estrutura final do pó obtido. Segundo Keshani et al., (2015), as variáveis que podem ser controladas e que afetam as características dos produtos são: i) propriedades do líquido de alimentação, ii) design do equipamento, e iii) parâmetros envolvidos no processo. Com a finalidade de obter boa eficiência de secagem, que mais precisamente é a obtenção de alta taxa de rendimento de secagem, e que pode ser obtida pela otimização de variáveis do processo.

Entretanto, é um processo que possui algumas limitações envolvidas. Como exemplo, é de difícil aplicação em alimentos ricos em açúcares devido à pegajosidade e alta higroscopicidade que minimizam o rendimento do processo. O escoamento e reconstituição desses produtos em pó somente é possível com baixa temperatura na câmara de secagem e adição de substâncias que minimizam esses problemas, como maltodextrina, goma arábica e agentes umectantes antes da secagem (FERRARI, GERMER, ALVIM, VISSOTTO, & DE AGUIRRE, 2012).

Outro fator limitante do processo é o número de materiais de parede disponíveis e o custo. Do ponto de vista técnico, a escolha do material de parede é uma etapa crítica, uma vez que irá influenciar antes da secagem as propriedades da emulsão, a retenção das substâncias voláteis durante a secagem e vida útil do pó obtido após a secagem (PEREIRA et al, 2018).

Em geral, spray driers são operados em temperaturas entre 150 a 300°C dependendo da natureza do material a ser obtido, entretanto, a temperatura real experimentada pelo material dentro das gotículas, é consideravelmente menor que isso, devido ao calor latente associado à evaporação do líquido (ALISON MATALANIS, 2011). De acordo com Liu et al (2004), os principais fatores que devem ser otimizados são temperatura de entrada e saída de ar do sistema, o tempo de permanência e a temperatura da câmara. Quanto mais alta é a temperatura de entrada, mais rápida é a evaporação da umidade. Tal como a temperatura de saída do ar, é responsável por controlar o teor de umidade final do pó.

A temperatura de alimentação altera a viscosidade da emulsão, sua fluidez e por consequência, o potencial de tornar um pó homogêneo. Se a temperatura de alimentação do sistema é aumentada, o tamanho das partículas, sua viscosidade e densidade devem diminuir, entretanto temperatura extrema pode causar a volatilização e degradação de ingrediente termo sensível, como também excessiva evaporação e rachaduras na membrana. A alta viscosidade do fluido interfere no processo de atomização e leva a formação de gotas alongadas e grandes, que afeta diretamente na taxa de secagem (ROSENBERG, KOPELMAN, & TALMON, 2000).

A eficiência de secagem está atribuída também ao diâmetro da gota, quanto menor o tamanho da gota, maior é a área superficial de contato com o ar dessecante pela qual a umidade poderá escapar e, portanto maior a produtividade (TRIBOLI, 2014).

Na tabela 3 é possível identificar as principais variáveis do processo e suas influências.

Tabela 3. Variáveis do processo de secagem via Spray-drying e suas influências

Parâmetro controlável	Influência no produto
↑ Temperatura de entrada	Aumento da produtividade, perda de voláteis Tamanho de partículas, viscosidade e densidade diminuem
↓ Temperatura de entrada	Evita perdas e aumenta retenção das substâncias voláteis
↑ Viscosidade do fluido de alimentação	Aumento do tamanho da gota , menor taxa de secagem
↓ Viscosidade do fluido de alimentação	Diminuição do tamanho da gota , aumento taxa de secagem
↑ Tamanho da gota	Produto mais úmido
↓ Tamanho da gota	Produto menos úmido

O pó obtido pelo processo de secagem por spray dryer é caracterizado pelo baixo teor de umidade, atividade de água e higroscopicidade, tal como, solubilidade e rápido tempo de reidratação, são importantes para alimentos que se encontram na forma de pó (BAKAR, EE, MUHAMMAD, HASHIM, & ADZAHAN, 2013)

3.4. Material de parede e suas propriedades

A escolha correta do material de parede para a encapsulação em spray-drying é de extrema importância para garantir tanto a estabilidade da encapsulação, quanto a sua eficiência. O critério de seleção do material de parede é baseado principalmente nas propriedades físico-químicas como: solubilidade, peso molecular, transição vítrea, formação de filme e propriedades emulsificantes, do método de encapsulação escolhido e aplicação final do produto (GHARSALLAOUI, 2007). Outro fator importante a ser considerado para encapsulação de compostos de sabor é a estabilidade para formar emulsões, pois geralmente estes são insolúveis em água.

Para ser considerado emulsificante, um composto deve ter grupamentos hidrofóbicos e hidrofílicos, assim, quanto maior for a capacidade emulsificante do material de parede, melhor a retenção de compostos. A principal limitação na técnica de spray-drying é o limite do número de materiais de parede disponível para uso em alimentos e que tenham como característica boa solubilidade em água. Além disso, o custo do material deve ser considerado (ADEM GHARSALLAOUI, 2007).

A seleção do material no processo de encapsulação geralmente envolve técnicas de tentativa e erro com base em vários critérios, entre os quais: eficiência de processo, grau de proteção ao núcleo, características microscópicas da superfície e estabilidade de estocagem e se o material de revestimento é aprovado pela Food and Drug Administration (EUA) ou European Food Autoridade de Segurança (Europa) (ATMANE MADENE, 2006).

3.4.1. Tipos de materiais de parede

3.4.1.1. Carboidratos

Os carboidratos são os materiais de parede mais utilizados para encapsulação, devido à capacidade de se ligar a compostos, sua diversidade e baixo custo. Os carboidratos como amidos, sólidos de xarope de milho e maltodextrinas são comumente utilizados como agentes encapsulantes pois exibem baixa viscosidade em alta concentração de sólidos, porém geralmente ocorre a perda das propriedades interfaciais que são requeridas para garantir a alta eficiência de encapsulação e por podem ser associados com outros materiais de parede como proteínas e gomas (ADEM GHARSALLAOUI, 2007)

A maltodextrina aparece na forma de pó, e sua umidade varia de 3,0 a 5,0%. Sua forma seca possui aparência branca, possui boa escoabilidade (*free-flowing*), com sabor muito suave e com pouca doçura. Por ser pouco higroscópico, têm aplicações em produtos onde ganhos significantes de umidade são indesejáveis (COLLARES, 2001). A maltodextrina é muito utilizada como adjuvante em spray drying devido a capacidade de minimizar a formação de depósitos nas paredes do equipamento durante o processo de secagem (TRIBOLI, 2014).

A maltodextrina quando utilizada em alta concentração, resulta em pós com baixo teor de umidade, o que contribui para uma rápida reidratação. Isso pode ser explicado pois quanto menor o teor de umidade, menos pegajoso é o pó, logo maior é a superfície de área em contato com a água de hidratação (GOULA & ADAMOPOULOS, 2008)

3.4.1.2. Gomas

As gomas são utilizadas devido suas principais propriedades: formação de filmes e estabilizante de emulsões. Dentre todas as gomas, a goma acácia, mais

popularmente conhecida como goma arábica, se destaca devido suas excelentes propriedades emulsificantes e por isso é amplamente utilizada como material encapsulante (ADEM GHARSALLAOUI, 2007).

No entanto, sua aplicação no ramo de alimentos é limitada, uma vez que a goma arábica é mais cara do que a maltodextrina (Kenyon, 1995; Shiga et al., 2001). Devido ao alto custo e problemas de disponibilidade, uma vez que é produzida em regiões que sofrem influências climáticas o que compromete sua oferta, estudos buscam substitutos totais ou parciais para a goma arábica. Alguns trabalhos registraram como opção a goma mesquita, que possui estrutura similar à goma arábica e que apresentou melhor capacidade emulsificante na encapsulação de óleo essencial de laranja (BERISTAIN & VERNON-CARTER, 1995) e óleo resina de pimenta. (ROSENBERG, KOPELMAN, & TALMON, 2000).

3.4.1.3. Proteínas

As proteínas têm excelente funcionalidade e propriedades como solubilidade, viscosidade, emulsificação, e propriedades de formação de filme, características que permitem que possam ser utilizadas como material de revestimento (ATMANE MADENE, 2006). As proteínas mais comuns aplicadas à encapsulação são proteínas do leite ou soro de leite e gelatinas.

3.5. Tendências

Os modelos clássicos de Spray Drier são associados a somente um leito fluido que em geral, aglomera o pó fino resultante da câmara de secagem, e completa a secagem em uma única etapa. O pó obtido nesses tipos de secadores Spray Drier (SD) geram muito resíduo de poeira durante a manipulação do produto final e possuem baixa fluidez. Com a finalidade de reduzir essa poeira e aumentar a fluidez do pó, existem modelos mais atuais como Multi-stage Spray Dryer (MSD), na qual a secagem ocorre em duas etapas: a primeira etapa ocorre da mesma forma que o SD, e é adicionada ao equipamento um leito fluidizado integrado na parte inferior da câmara de secagem, onde ocorre a segunda etapa de secagem. Isso permite que o pó se aglomere partículas finas ou aumentando o tamanho médio das partículas (100 a 300 μm), com a finalidade de reduzir a formação de poeiras e aumentar a capacidade de fluidez dos pó obtido pelo processo

(AFOADWAH, 2012).

Devido à alta exigência das indústrias de alimentos por produtos com propriedades tecnológicas mais otimizadas e consequente necessidade de mais opções de materiais de parede, os amidos modificados se tornaram uma grande alternativa frente ao amido nativo. Como alternativa para encapsulação, o amido OSA - amido derivado com octenil anidrido succínico - tem sido bastante empregado, pois confere propriedades emulsificantes, uma vez que essa modificação proporciona à molécula a capacidade de reter diversos componentes durante a secagem por atomização (CARVALHO, 2017).

Existem estudos sobre novas aplicações de materiais de parede que diferem dos materiais de paredes convencionais. Foi estudado a aplicação de amido modificado da tapioca como material de parede para encapsulação de betacaroteno (LOKSUWAN, 2007). A utilização de materiais de parede oriunda de proteínas vegetais reflete certa tendência, visto que é ambientalmente correta, e têm sido aplicadas na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia. Dentre as possíveis proteínas extraídas de plantas estão as proteínas de ervilhas, soja e cereais (NESTERENKO, 2013).

O polissacarídeo alginato, extraído de diversas espécies de algas, apresentou funcionalidade como material de revestimento devido a presença de ácidos D-manurônico e L-gulurônico na sua composição molecular (DONG, et al., 2013).

A inulina, classificada como polissacarídeo frutano, encontrada em diversos vegetais têm atraído atenção pelas indústrias devido aos seus vários benefícios como fibras dietéticas e pela sua natureza prebiótica, possui também aplicação como material de parede (KAWAI, FUKAMI, THANATUKSORN, C., & KAJIWARA, 2011).

4. CONCLUSÃO

Diante de uma variedade de técnicas de encapsulação de aromas disponíveis atualmente no mercado, a encapsulação por spray-drying se destaca por ser considerada uma tecnologia de baixo custo e alta produtividade, sendo amplamente empregada nas indústrias de diversos ramos.

Pelo fato dos aromas serem compostos altamente voláteis, perdem facilmente suas propriedades sensoriais de interesse, por este motivo, a técnica é muito empregada na indústria de alimentos visando à preservação do aroma e uma maior estabilidade que viabiliza sua aplicação. A encapsulação por spray-dryer é aplicada na indústria alimentícia com a finalidade de garantir estabilidade microbiológica dos produtos, promover solubilidade instantânea, reduzir a atividade do núcleo com o ambiente externo por evaporação evitando a perda do aroma, mascarar sabores indesejáveis. Além de garantir extensão de vida útil do aroma, redução do estoque e dos custos envolvidos no transporte.

A seleção do material de parede mais adequado e a otimização das variáveis envolvidas no processo, é fundamental para garantir uma melhor eficiência de secagem, e qualidade do pó obtido.

A técnica de secagem em Multi-stage Spray Dryer (MSD) é um modelo mais inovador comparado ao Spray Drier (SD), capaz de reduzir a formação de poeira e melhorar a fluidez do pó obtido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL-FATTAH, A. M. (2007). The challenge of drying method selection for proteins pharmaceuticals: product quality implications. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 96(8), 1886-1916.
- ADAMIEC, J. &. (2006). Analysis of microencapsulation ability of essential oils during spray drying. *Drying Technology*, 24, 1127-1132.
- ADEM GHARSALLAOUI, G. R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview.
- AFOADWAH A., A. C. (2012). Spray Drying as an Appropriate Technology for the Food and Pharmaceutical Industries - A Review.
- ALISON MATALANIS, O. G. (2011). Structure biopolymer-based delivery systems for encapsulation, protection and release of lipophilic compounds. *Food hydrocolloids*.
- ANVISA. (2007). *RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 2, DE 15 DE JANEIRO DE 2007*.
- AROMAS. (2015). *REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL Nº 33*. Fonte: <http://www.revista-fi/>.
- ATMANE MADENE, M. J. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology* 2006, 41, 1–21.
- AZEREDO, H. M. (2005). Encapsulação: Aplicação á tecnologia de alimentos. *Alim. nutr.* v. 16, nº1, p 89-97.
- BAKAR, J., EE, S. C., MUHAMMAD, K., HASHIM, D. M., & ADZAHAN. (2013). Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). *Food and Bioprocess Technology*, v. 6, n. 5, p.1332-1342.
- BAKRY, A., ABBAS, S., ALI, B., MAJEED, H., Y., A. M., OUSA, A., & LIANG, L. (2015). Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. . *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*; v. 15, n. 1; p. 143-182.
- BARANAUSKIENE, E. V. (2006). Properties of oregano (*Origanum vulgare* L), citronella (*Cymbopogon nardus* G.) and marjoram (*Majorana hortensis* L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. *Food Research International*, 39(4), 413-425.
- BERISTAIN, C., & VERNON-CARTER, E. (1995). Studies on the interaction of arabic (*Acacia senegal*) and mesquite (*Prosopis juliflora*) gum as emulsion stabilizing agent for spray-dried encapsulated orange peel oil. *Drying Technol.*, v.13, n. 1/2, p. 455-461.
- CARVALHO, G. R. (2017). AVALIAÇÃO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE

MATERIAL DE PAREDE NA MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL LEMONGRASS.

- COLLARES. (2001). Desprendimento de filmes de pastas alimentícias durante a secagem sobre superfícies de sólidos e sua relação com a transição vítrea. *Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas.*
- DONG, Q.-Y., CHEN, M.-Y., XIN, Y., QIN, X.-Y., CHENG, Z., SHI, L.-E., & TANG, Z.-X. (2013). Alginate-based and protein-based materials for probiotics encapsulation: a review. *International Journal of Food Science and Technology, Oxford*, v. 48, n. 7, p. 1339–1351.
- DORDEVIC'. (2015). Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. *Food Engineering Reviews volume 7*, pg 452–490.
- DOSSIÊ AROMAS. (2009). Os Aromas. . *REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL Nº 8, 2009*, pag. 40-68, acesso.
- Feng et al. (2018). *Preparation and structural characterization of different amylose flavor molecular inclusion complexes. starch*,70, 1-10.
- FERRARI, C. C., GERMER, S. P., ALVIM, I. D., VISSOTTO, S. Z., & DE AGUIRRE, J. M. (2012). Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. . *International Journal of Food Science & Food Science & Technology*, v. 47, n. 6, p. 1237-1245.
- GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., VOILLEY, A., & SAUREL, R. (2007). Applications of secagem por spray in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, v.40, n.9, p.1107-1121.
- GOULA, A. M., & ADAMOPOULOS, K. G. (2008). A new technique for spray drying of tomato pulp in dehumidified air:I. powder properties. *Drying Technology*, v. 26, n. 6, p. 726-737.
- GRAND VIEW RESEARCH. (2019). Flavors and Fragrances Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Natural, Aroma), By Application (Flavors, Fragrances), By Region, And Segment Forecasts, 2019 - 2025. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/flavors-fragrances-market>.
- GUPTA, S., MUZAFAR, M., KUSHWAHA, M., & YADAV, A. (2016). Encapsulation: entrapping essential oil/flavors/aromas in food.
- JAFARI, A. H. (2008). Nanoparticle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, 41, 172-183.
- JORGENSEN ANDERS D., S. L. (2012). Structural and physical effects of aroma compound binding to native starch granules. *Starch Staerke*, 64, 461-469.
- JYOTHI., S.S.; SEETHADEVI, A.; PRABHA, K. S.; MUTHPRASANNA, P.; PAVITRI, P. (2012). Microencapsulation: a review. *International Journal of*

- Pharma and Bio Sciences, v. 3 , p. 509-531.
- KAWAI, K., FUKAMI, K., THANATUKSORN, P., C., V., & KAJIWARA, K. (2011). Effects of moisture content, molecular weight, and crystallinity on the glass transition temperature of inulin. *Carbohydrate Polymers, Barking*, v. 83, n. 2, p. 934–939.
- Kenyon. (1995). *Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation*.
- KESHANI, S. e. (2015). Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. *Journal of Food Engineering*. v. 146, p. 152-162.
- LIU, Z. Z. (2014). The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *Journal of Food Engineering*, 65, 391-396.
- LOKSUWAN, J. (2007). Characteristics of microencapsulation β -Carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloid*. 21, 928-935.
- LTDA, D. D.-L. (s.d.). Fonte: DEPTO DE ENGENHARIA - LABMAQ DO BRASIL LTDA.
- LUCY C. ABURTO, D. D. (1998). Microencapsulação de óleo essencial de laranja. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* v.18 n.1 Campinas Jan./Abr. 1998.
- MADENE, A. J. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 41, 1-21.
- NESTERENKO. (2013). A new way of valoring biomaterials: The use of sunflower protein for α -tocopherol microencapsulation. *Food Research International, Barking*, v. 53, n. 1, p. 115–124 .
- PERRONE, I. T., PEREIRA, J. P., & CARVALHO. (2011). *Aspectos tecnológicos de fabricação de soro em pó: uma revisão*, *Rev. Inst. Lac. Cândido Tostes*, v. 66, n. 380, p. 23- 30,.
- ROSENBERG, M., KOPELMAN, I., & TALMON, Y. (2000). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *J. Agr. Food Chem.*, v;71 , p. 83-102.
- SAIFULLAH, M. (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds. A critical review. *Trends in Food Science & Rechnology* 86, 230-251.
- SHAHIDI, F. &. (1993). Encapsulation of food ingredientes. *Critica Review in Food Science and Nutrition*, 33, 501-547.
- SHISHIR, M. R., & CHEN, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit.
- SILVA, P.T., FRIES, L. M., MENEZES, C. R., HOLKEM, A. T., SCHWAN, C. L., . . . SILVA, C. (2014). Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and

some applications in food technology.

- SOOTTITANTAWAT. (2005). Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated dlimonene by spray drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.6, n.1,.
- TANAKA, D. L. (2007). INFLUÊNCIA DA DESIDRATAÇÃO POR SPRAY DRYING SOBRE O TEOR ÁCIDO ASCÓRBICO NO SUCO DE ACEROLA (*Malpighia ssp*) .
- TRIBOLI, E. P. (2014). Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto.
- VEHRING, R., FOSS, W. R., & LECHUGA-BALLESTEROS, D. (2007). D. Particle formation in spray drying. *Journal of Aerosol Science*. v. 38, p. 728-746.
- ZIEGLER, H. (2007). *A Dynamic Business With Taste – The Flavour Industry*, pg 6.